

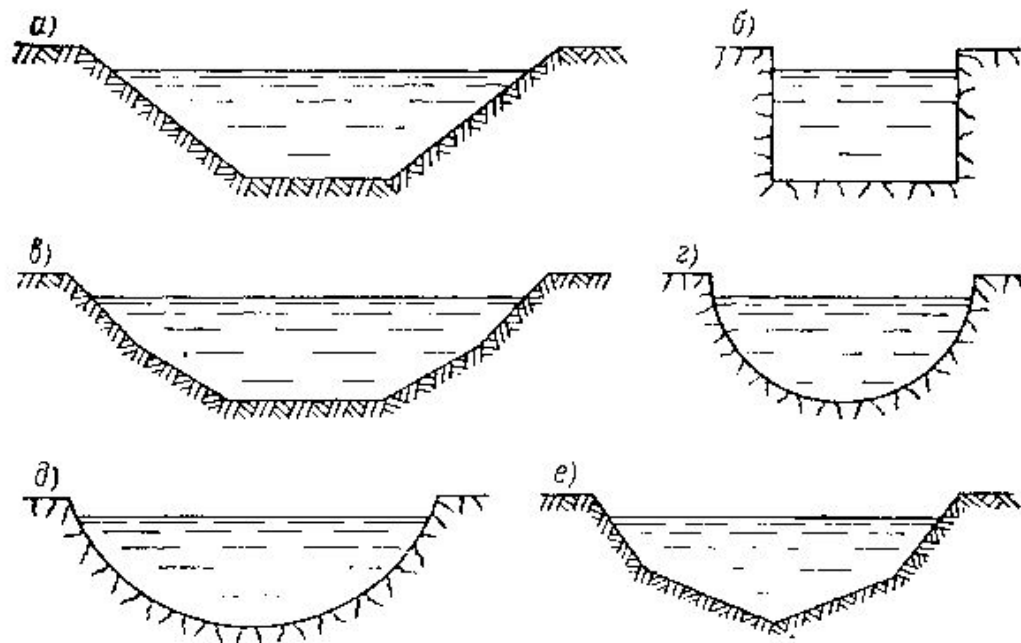
Расчет каналов

Гидравлика

*составитель доцент кафедры ГИГЭ ИГНД ТПУ
Крамаренко В.В.*

- **Канал** (от лат. *canalis* – труба, жёлоб) в гидротехнике, искусственное русло (водовод) правильной формы с безнапорным движением воды, устроенное в грунте.

Форма поперечного сечения канала, уклоны и облицовка



Формы живых сечений каналов.

а - трапецидальная;

б - прямоугольная;

в - полигональная;

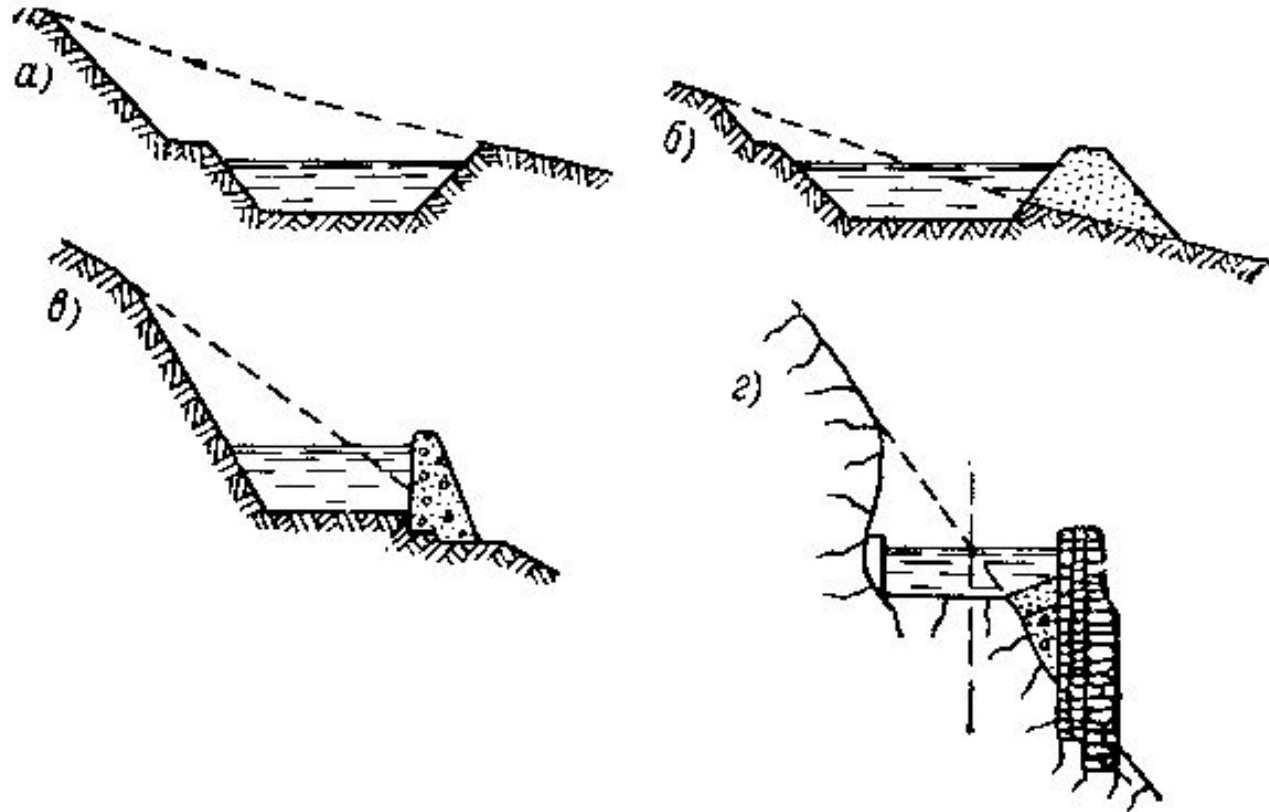
г - полукруглая;

д - параболическая;

е - ложбинообразная.

Поперечные профили каналов на косогорах.

При необходимости прокладки трассы канала на косогорах в каждом конкретном случае принимают соответствующие конструктивные решения, экономичные и обеспечивающие нормальную работу сооружения



- а - на пологом склоне в минимальной выемке;
- б - в полувыемке-полунасыпке;
- в - на крутом склоне с подпорной лицевой стенкой;
- г - на скальном основании с подпорной стенкой.

Расчет канала

- Площадь живого сечения канала и его форму выбирают на основе гидравлического расчета и с учетом конструктивных условий и назначения канала. Например, судоходные и лесосплавные каналы должны иметь размеры, соответствующие габаритам расчетных судов и плотов.

Гидравлический расчет обычно исходит из формул равномерного движения воды

$$w = Q/v,$$

$$v = C\sqrt{R/i}$$

- где w — площадь живого сечения, м²;
- v — скорость течения воды, м/с;
- C — коэффициент Шези, м^{0,5}/с;
- R — гидравлический радиус, м;
- i — гидравлический уклон.
- однако энергетические каналы необходимо еще рассчитывать на неустановившийся режим.
- Размеры поперечного сечения канала B , b , d , а иногда и его форму выбирают на основе гидравлических расчетов с учетом производственных условий и допустимых скоростей течения. При этом используют обычно формулы для равномерного движения воды.
- После определения площади поперечного сечения канала производят его проверку **на допустимые скорости течения**.

- При равномерном движении воды в каналах расход Q , м³/с, следует определять по формуле
-

$$Q = wC\sqrt{Ri}$$

- Для каналов с гидравлическим радиусом $R \leq 5$ м коэффициент Шези следует определять, как правило, по формуле
-

$$C = \frac{1}{n} R_y$$

$$C = \frac{1}{n} + (27,5 - 300n) \lg R_y$$

- где n — коэффициент шероховатости, определяемый по таблицам приведенным ниже.
- Допускается определять коэффициент Шези по формуле
-

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1)$$

- Для практических расчетов значение коэффициента Шези в формуле (2) допускается принимать по гидравлическим справочникам.
- Для приближенных расчетов допускается использование формулы
-

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

- Для определения коэффициента Шези при расчете ирригационных каналов широко используется формула Агроскина И.И.
- $C = 17,72 \left(\frac{0,056}{n} + \lg R \right)$
- где n – коэффициент шероховатости русла; R – гидравлический радиус. Основанная на большом опытном материале формула И. И. Агроскина дает удовлетворительные результаты при $n=0,009\div0,040$ и $R = 0,1\div3,0$ м.
- *В области гидравлически гладких русел*
- $C=18,75Re^{0.125}$.
- *В области ламинарного режима движения:*
- $C=1,81 \sqrt{Re}$.
- *Для рек формирующих русла в песчано-гравийных породах и для каналов, проходящих в естественных грунтах и несущих наносы действительна формула Альштуля:*
- .

$$C = \frac{14,8}{i^{1/6}} - 26$$

КОЭФФИЦИЕНТЫ ШЕРОХОВАТОСТИ n КАНАЛОВ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

Расход воды в канале м ³ /с,	Коэффициенты шероховатости n оросительных каналов в земляном русле	
каналы	в связных и песчаных грунтах	в гравелисто-галечниковых грунтах
Более 25	0,0200	0,0225
1 — 25	0,0225	0,0250
Менее 1	0,0250	—
Каналы постоянной сети периодического действия	0,0275	—
Оросители	0,030	—
Примечания: 1. Для каналов водосборно-сбросной сети значение коэффициента шероховатости повышается на 10% по сравнению со значением того же коэффициента для оросительных каналов и округляется до ближайшего принятого в таблице значения. 2. Для каналов, выполняемых взрывным способом, значение коэффициента шероховатости повышается на 10 — 20 % в зависимости от размеров принимаемой доработки сечений канала.		

КОЭФФИЦИЕНТЫ ШЕРОХОВАТОСТИ КАНАЛОВ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

Облицовка	Коэффициенты шероховатости n каналов с облицовкой
Бетонная хорошо отделанная	0,012 — 0,014
Бетонная грубая	0,015 — 0,017
Сборные железобетонные лотки	0,012 — 0,015
Покрытия из асфальтобитумных материалов	0,013 — 0,016
Одернованное русло	0,03 — 0,035

Характеристика поверхности ложа канала	Коэффициенты шероховатости n каналов в скале
Хорошо обработанная поверхность	0,02 — 0,025
Посредственно обработанная поверхность без выступов	0,03 — 0,035
То же, с выступами	0,04 — 0,045

КОЭФФИЦИЕНТЫ ШЕРОХОВАТОСТИ КАНАЛОВ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОТОКОВ

Характеристика русла	Коэффициенты шероховатости n естественных водотоков
Естественное русло в благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением)	0,025 — 0,033
То же, с камнями	0,03 — 0,04
Периодические потоки (большие и малые) при хорошем состоянии поверхности и формы ложа	0,033
Земляные русла сухих логов в относительно благоприятных условиях	0,04
Русло периодических водотоков, несущих во время паводка заметное количество наносов с крупногалечниковым или покрытым растительностью ложем, периодические водотоки, сильно засоренные и извилистые	0,05
Чистое извилистое ложе с небольшим числом промоин и отмелей	0,033 — 0,045
То же, но слегка заросшее и с камнями	0,035 — 0,05
Заросшие участки рек с очень медленным течением и глубокими промоинами	0,05 — 0,08
Заросшие участки рек болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и пр.)	0,075 — 0,15
Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (трава, кустарники)	0,05
Значительно заросшие поймы со слабым течением и большими глубокими промоинами	0,08
То же, с неправильным косоструйным течением и большими заводами и др.	0,1
Поймы лесистые со значительными мертвыми пространствами, местными углублениями, озерами и др.	0,133
Глухие поймы, сплошные заросли (лесные, таежного типа)	0,2

- Для симметричного трапецеидального сечения площадь живого сечения определяется по формуле:

- $w = (b + mh)h$,

- смоченный периметр:

$$\chi = b + 2h \sqrt{1 + m^2} ,$$

-

- гидравлический радиус

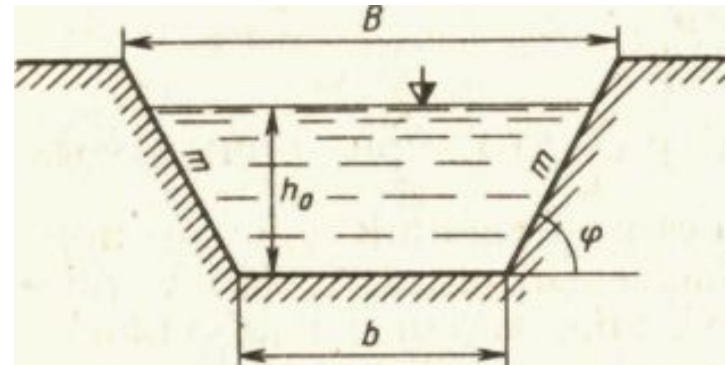
$$R = \frac{w}{\chi} = \frac{(b + mh)h}{b + 2h \sqrt{1 + m^2}}$$

- Для прямоугольного русла:

- $w = bh$, $c = b + 2h$,

-

$$R = \frac{bh}{(b + 2h)}$$



Основные типы задач при расчете каналов

- При проектировании трапецеидальных каналов рассматривают три основных типа задач.
- Коэффициент откоса m обычно выбирается из условия устойчивости откосов или их облицовки; коэффициент шероховатости n выбирается в зависимости от характеристики поверхности русла.
- **Задача 1 типа.** Определение расходов Q (скорости) при заданном уклоне i и принятом поперечном сечении ω канала. Задача решается непосредственным вычислением расхода по формуле:

- $Q = \omega C \sqrt{Ri}$

- Предварительно вычисляются величины

- $w = (b + mh)h,$

$$\chi = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

- $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{(b + mh)h}{(b + 2h\sqrt{1 + m^2})}$

- $C = Ry$ или $C = R^{1/6}$

- **Задача 2.** Определение уклона дна i при заданном расходе q и принятом поперечном сечении ω канала. Необходимый уклон находим непосредственно из формулы расхода

- $Q = \omega C \sqrt{Ri}$,

- для чего находим C, R

- **Задача 3.** Определение элементов живого сечения b и h при заданном расходе Q и уклоне i канала. Так как расчетное уравнение расхода одно, а требуется определить два неизвестных, то задача неопределенная. Чтобы ее решить, необходимо задаться b или $\beta = b/h$
- Возможны три варианта решения.
- Задаемся значением b и определяем соответствующую ему и условиям задачи h . Задачу решаем подбором: назначаем последовательно ряд глубин и вычисляем расходы до тех пор, пока не получим требуемого расхода; соответствующая этому расходу глубина и будет искомой.
- Задачу можно решить графоаналитическим способом. Задаваясь, как и выше, рядом глубин, получаем соответствующие им расходы, затем строим кривую зависимости $Q = f(h)$. Откладываем по оси абсцисс требуемый расход и, восстановив перпендикуляр до пересечения с кривой, находим точку А. Этой точке на оси ординат соответствует искомая глубина.
- Можно задаться глубиной h и находить ширину канала по дну b . Задача решается так же, как и предыдущая: или подбором, или графоаналитическим методом. Назначаем ряд значений b и повторяем расчет канала до тех пор, пока расход не станет равен требуемому. Ширина b , при которой расход равен требуемому, и есть искомая. Если задачу решаем графоаналитическим методом, то по данным расчета строим кривую $Q = f(b)$, т.е., задаемся рядом значений b , находим соответствующие им расходы и затем строим график, откладывая по оси требуемый расход, но оси ординат определяем b .
- Если даны $\beta = b/h$, Q , m , n и требуется найти b и h , то задача решается так же, как и предыдущая. Задаемся рядом глубин h и находим соответствующие b , w , C , Q .

Допустимые скорости в каналах

- Одной из задач гидравлического расчета каналов является определение *максимальной допускаемой скорости течения, называемой неразмывающей и минимальной допускаемой скорости (незаиляющей)*.
- **Неразмывающая скорость** – наибольшая скорость потока, при превышении которой русло начинает размываться.
- **Незаиляющая скорость.** Это – скорость, при которой из потока еще не выпадают транспортируемые им взвешенные частицы. Частицы начинают выпадать из потока (заиловать русло) при скорости потока v . Значение незаиляющей скорости не зависит от материала ложа канала, а определяется характеристиками потока и взвешенных в потоке наносов.

$$V_{min} < v < V_{max}$$

Потери воды из каналов и меры борьбы с ними

-

Различают три вида потерь воды из каналов:

- 1) на испарение в атмосферу,
- 2) на фильтрацию в грунт,
- 3) на фильтрацию через гидротехнические сооружения на каналах.

- Наибольшими являются потери воды на фильтрацию в грунт ложа канала. В оросительных каналах эти потери могут достигать 50-60 % полезного расхода воды. Такие значительные потери рождают удорожание строительства каналов из-за необходимости делать их большего сечения (с целью доставки потребителю требуемого количества воды) и значительно увеличивают эксплуатационные расходы по каналам, питающимся при помощи насосных станций.

Существуют также эмпирические формулы, например, формулы А. Н. Костякова для оросительных каналов. В них потери воды на 1 км длины канала σ даются в процентах от расхода Q протекающей в нем воды (м³/с):

в среднепроницаемых грунтах

$$\sigma = 1,9 / Q^{0,4}$$

- в тяжелых малопроницаемых грунтах

-

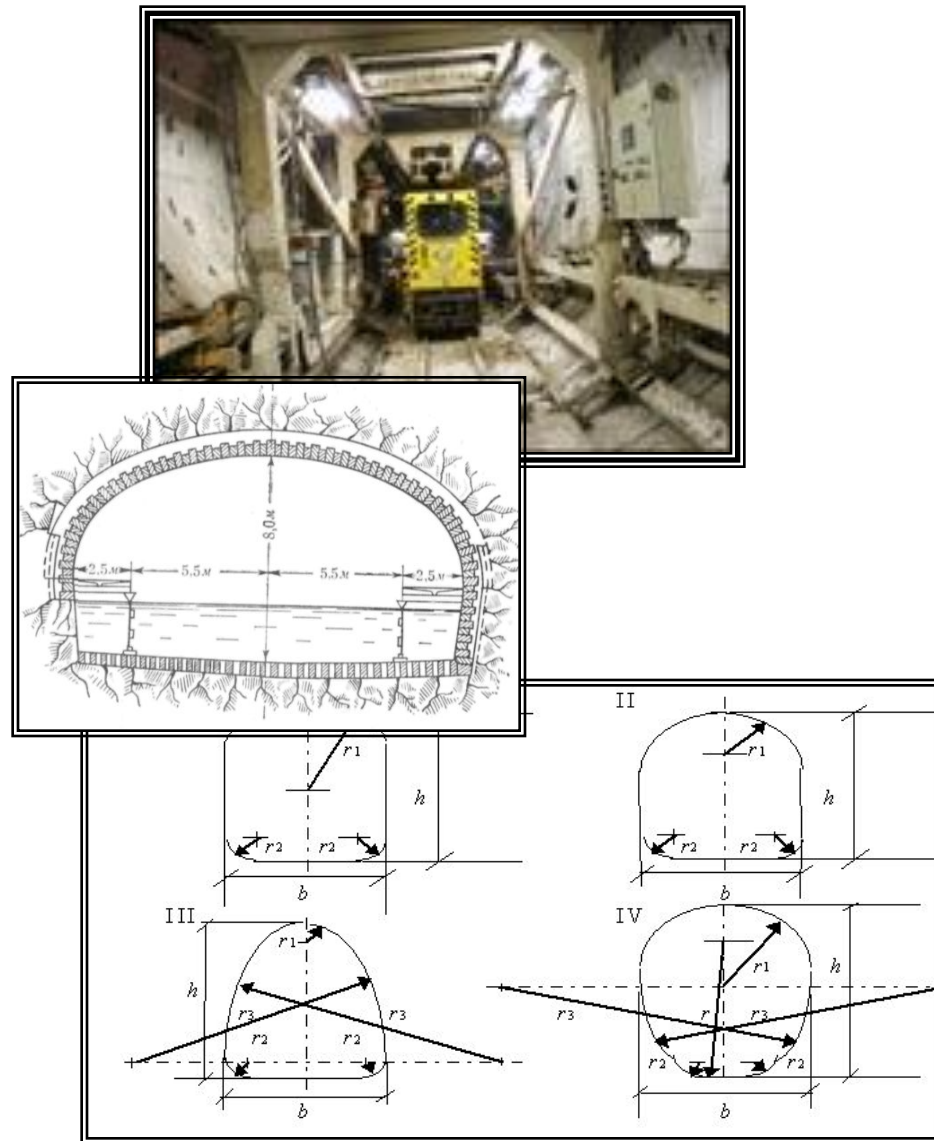
$$\sigma = 0,7 / Q^{0,3}$$

Особенности расчета русел рек

- В инженерной практике для упрощения расчетов естественное поперечное сечение заменяют поперечным сечением правильной формы, по площади равным естественному.
- Если естественное русло характеризуется относительно большой шириной $B \gg A$, то его сечение заменяют **прямоугольным**. Смоченный периметр принимают равным ширине русла реки поверху $\chi = B$, поперечное $\omega = bh$, а гидравлический радиус $R = h$. Тогда формулы и расходной характеристики имеют вид
- $Q = BCh^{1,5}$, $K = BCh^{1,5}$
- Если естественное русло приводят к **параболическому очертанию**,
- $w = 2/3 Bh$, $c = B$, $R = 2/3 h$
- то $Q = 0,545 BCh^{1,5} \sqrt{i}$,
- $K = 0,545 BCh^{1,5}$.
-

Расчет каналов замкнутого сечения

- К каналам замкнутого сечения относятся различные трубопроводы и тоннели, в которых поток воды не заполняет всего сечения. Применяются стандартные профили круглого, шатрового, овоидального и лоткового сечения. Все трубопроводы одной формы геометрически подобны между собой и отличаются друг от друга только по размеру. При расчете любого профиля решаются те же три основные задачи, что и для обычного открытого канала: определение расхода, уклона и размеров сечения. Гидравлические расчеты тоннелей, безнапорных водоводов и канализационных труб производятся по тем же формулам, что и расчет каналов. Основной расчетной формулой является уравнение Шези.
- Безнапорное движение в круглых и овоидальных трубах имеет некоторые особенности: наибольший расход и наибольшая скорость наблюдаются при частичном наполнении труб, а не при полном.

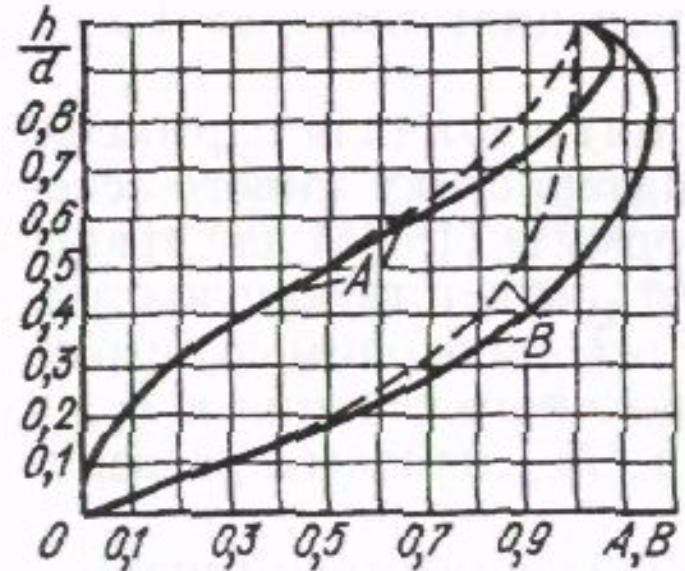


- Гидравлический расчет каналов замкнутого поперечного сечения (круглой или иной формы) непосредственно по основным формулам Шези является весьма трудоемким, поэтому на практике пользуются вспомогательными графиками или таблицами, составленными для отношений
- $A = K_n/K$;
- $B = W_n/W$,
- w_n/w ;
- R_n/R ,
- при различной степени наполнения канала $A = h_n/H$, т.е. в форме соответствующих функций от h_n/H .

- Здесь K_n – расходная характеристика при некоторой глубине h_n , т.е. при частичном наполнении, а K – расходная характеристика при глубине H , т.е. при максимальном наполнении, когда канал работает полным сечением. Аналогично обозначают скоростную характеристику – W_n , площадь живого сечения – w_n и гидравлический радиус – R_n при глубине h_n , а W , w и R (без индекса) обозначают те же величины при глубине H :

- $W = C\sqrt{R} = V/\sqrt{i}$.

- Для каналов с геометрически подобными сечениями указанные зависимости K_n/K и W_n/W остаются практически одинаковыми (не связаны с величиной каналов). На рис приведены кривые $A = K_n/K$ и $B = W_n/W$ для труб круглого сечения.
- Пользуясь этими кривыми, можно определить расходную характеристику K_n или скоростную характеристику W_n при любой заданной глубине канала h_n , если известна расходная характеристика K или скоростная характеристика W при максимальном заполнении данного сечения. С учетом приведенных зависимостей расход и скорость при частичном наполнении равны:
- $Q = AK$; $V = BW$.



Источники:

Исаев А.П., Сергеев Б.И. Дидур В.А. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов. М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.
Пашков Н.Н., Долгачев Ф.М. Гидравлика. Основы Гидрологии.- М.: Энергоатомиздат, 1993. –448с.: ил.
Калицун В.Н. Гидравлика, водоснабжение, канализация. – М.: Стройиздат, 2000. – 397 с.
Штеренлихт. Гидравлика: Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 2004. –640с.
Константинов Н.М. и др. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: Учеб. Для вузов в 2-х частях. Общие законы. М.: Высш. Шк., 1987.
Слободкин А.Я. М., Изд-во Лесная промышленность, 1968. – 256с.
Примеры расчетов по гидравлике. Учеб. пособие для вузов. Под. Ред. А.Д. Альштуля. М., Стройиздат, 1976.- 255с.